

Metody matrycowe wykorzystywane w analizie ryzyka ujęć wody

Matrix methods used in the risk analysis of water intakes

DAWID SZPAK, KRZYSZTOF BORYCZKO, JAKUB ŻYWIEC, JANUSZ RAK

DOI 10.36119/15.2021.7-8.6

Ocena ryzyka ujęć wody od 2017 roku jest podstawą decyzji o utworzeniu strefy pośredniej ochrony ujęć wody. W pracy dokonano przeglądu matryc ryzyka wykorzystywanych w analizie i ocenie ryzyka w systemie zaopatrzenia w wodę (SZW). Ponadto przedstawiono ocenę ryzyka dla czterech ujęć wód powierzchniowych, typu brzegowego, zlokalizowanych w południowo-wschodniej Polsce. Na podstawie wyników oceny ryzyka zidentyfikowano potrzebę ustanowienia nowych lub dostosowania istniejących stref ochronnych dla analizowanych ujęć wód.
Słowa kluczowe: analiza ryzyka, ujęcie wody, strefa ochrony ujęcia wody

From 2017 risk assessment for water intakes is the basis for the decision to establish the indirect water protection zone. The work contains a review of the risk matrix methods, which are used in the risk analysis and assessment in the water supply system (WSS). Risk assessment was carried out for four surface water intakes, onshore type located in south-eastern Poland. Based on the results of the risk assessment, the need to establish new or adjust existing protection zones for analyzed water intakes was identified.

Keywords: risk analysis, water intake, water intake protection zone

Wprowadzenie

Dostęp do bezpiecznej wody do spożycia jest niezbędny dla zdrowia, jest podstawowym prawem człowieka i elementem skutecznej polityki ochrony zdrowia. System zaopatrzenia w wodę (SZW) jest elementem infrastruktury krytycznej [6]. Infrastruktura krytyczna oznacza systemy i obiekty funkcjonalnie połączone, wchodzące w skład tych systemów, w tym obiekty budowlane, jednostki administracji publicznej, instalacje, usługi kluczowe dla bezpieczeństwa państwa i obywateli, które zapewniają sprawne funkcjonowanie organów administracji państwowej oraz instytucji i przedsiębiorców [11]. Głównym zadaniem SZW jest zaopatrzenie odbiorców w wodę do spożycia o wymaganej jakości, odpowiedniej ilości i ciśnieniu odpowiadającym aktualnym normom. Ze względu na duży zasięg przestrzenny, obejmujący cały obszar zasilania wodociągów, różnorodność stosowanych materiałów i ich wiek, SZW do prawidłowego funkcjonowania wymaga fachowej obsługi [8, 9, 14, 17, 20].

Sieć wodociągowa jest rozbudowaną instalacją techniczną, a jej niezawodne działanie uzależnione jest od wielu czynni-

ków wewnętrznych (konstrukcja, materiał, warunki przepływu), jak i zewnętrznych (np. warunki gruntowo-klimatyczne, działalność człowieka). Konsekwencją wynikającą z oddziaływania tych czynników są zdarzenia awaryjne, powodujące zawodność całości lub części SZW, co w konsekwencji może prowadzić do utraty bezpieczeństwa odbiorców wody, co należy rozpatrywać w dwóch aspektach [5]:

- zagrożenia wynikające z braku wody lub przerwy w dostawie wody,
- zagrożenia wynikające z możliwości spożycia skażonej wody (co może spowodować utratę zdrowia konsumentów).

Źródłem zaopatrzenia mieszkańców w wodę do spożycia są ujęcia wód podziemnych i powierzchniowych. Wody przeznaczone do spożycia przez ludzi powinny spełniać określone wymagania. Osiąga się to poprzez wykorzystanie: dobrej jakości wód gruntowych, które nie wymagają lub wymagają niewielkiego uzdatniania; wody powierzchniowej wymagającej zastosowania, w zależności od kategorii jakości, odpowiedniego procesu uzdatniania. Jakość pobieranej wody zależy głównie od [23]:

- w przypadku ujęć wód podziemnych – ilość i rodzaj zanieczyszczeń wprowadzanych do gruntu lub migrujących z powierzchni ziemi do warstwy wodonośnej zasilającej ujęcie,
- w przypadku ujęć wód powierzchniowych – ilość i rodzaj zanieczyszczeń wprowadzanych do tych wód powyżej ujęcia.

Kluczowym zadaniem władz publicznych w zapewnieniu odpowiedniej jakości wody przeznaczonej do spożycia przez ludzi jest utrzymanie jakości pobieranych wód, a tam gdzie to konieczne, poprawa jakości wody. Realizuje się to m.in. poprzez określanie w ramach pozwoleń wodnoprawnych na pobór wód warunków poboru tych wód oraz ustanawianie stref ochronnych ujęć wód. Z uwagi na fakt, że skażenie wód podziemnych przeznaczonych do spożycia przez ludzi może pojawić się po wielu latach, od prawidłowego ustanowienia stref ochronnych ujęć i przestrzegania warunków związanych z ich utworzeniem oraz wydanych pozwoleń wodnoprawnych, zależy od tego, czy ochrona ujęcia wody jest skuteczna.

W Polsce znowelizowano Prawo wodne [22], które określa zasady tworzenia stref

dr inż. Dawid Szpak, <https://orcid.org/0000-0001-9654-2477>, dr inż. Krzysztof Boryczko, prof. PRz, <https://orcid.org/0000-0001-6690-3577>, mgr inż. Jakub Żywiec, <https://orcid.org/0000-0002-0823-4229>, prof. dr hab. inż. Janusz Rak, <https://orcid.org/0000-0001-7713-5841> – Politechnika Rzeszowska im. Ignacego Łukasiewicza, Wydział Budownictwa, Inżynierii Środowiska i Architektury, Katedra Zaopatrzenia w Wodę i Odprowadzania Ścieków, Rzeszów, e-mail: rakjan@prz.edu.pl, kb@prz.edu.pl, dsz@prz.edu.pl

ochronnych ujęć wody. Strefa ochronna to obszar, na którym obowiązują nakazy, zakazy i ograniczenia w korzystaniu z gruntu i wody. Strefa ochronna obejmuje: tylko obszar ochrony bezpośredniej lub obszar ochrony bezpośredniej oraz obszar ochrony pośredniej. Dla każdego ujęcia wody ustanawia się strefę ochronną obejmującą jedynie obszar ochrony bezpośredniej. W obszarze ochrony bezpośredniej konieczne jest [22]:

- odprowadzanie wód opadowych lub roztopowych w sposób uniemożliwiający ich dotarcie do urządzeń służących do poboru wody,
- zagospodarowanie terenu zielenią,
- odprowadzanie ścieków z urządzeń sanitarnych poza granicę obszaru ochrony bezpośredniej przeznaczonych do użytku przez osoby zatrudnione przy eksploatacji urządzeń poboru wody,
- ograniczenie obecności osób niezatrudnionych przy obsłudze urządzeń poboru wody tylko do niezbędnych potrzeb.

W obszarze ochrony pośredniej można zabronić lub ograniczyć wykonywanie prac lub czynności obniżających użyteczność ujęcia wody lub wydajność ujęcia, np.: odprowadzanie ścieków do wód lub do gruntu; rolnicze wykorzystanie ścieków; przechowywanie lub unieszkodliwianie odpadów radioaktywnych; stosowanie nawozów i środków ochrony roślin; budowa nowych dróg, linii kolejowych, lotnisk czy lądowisk; budowa urządzeń melioracyjnych i wykopów ziemnych; lokalizacji zakładów przemysłowych i hodowli zwierząt; lokalizacji magazynów produktów naftowych i innych substancji oraz rurociągów do ich transportu.

Strefa ochronna, obejmująca obszar ochrony bezpośredniej i obszar ochrony pośredniej, ustalana jest na podstawie analizy ryzyka, w tym oceny zagrożenia zdrowia, z uwzględnieniem czynników negatywnie wpływających na jakość ujmowanych wód, na podstawie analiz hydrogeologicznych lub hydrologicznych oraz dokumentacji hydrogeologicznej lub hydrologicznej, analizy rozpoznania źródeł zagrożeń wynikających ze sposobu zagospodarowania terenu, a także wyników badań jakości pobieranych wód [22].

Analizę ryzyka przeprowadza się dla: ujęć dostarczających więcej niż 10 m³ wody dziennie lub obsługujących więcej niż 50 osób; indywidualne ujęcia dostarczające do 10 m³ wody na dobę lub obsługujące wodę do 50 osób, jeżeli woda dostarczana jest jako woda przeznaczona do spożycia przez ludzi, w ramach obiektów handlowych, usługowych, przemysłowych lub użyteczności publicznej. Analiza ryzyka jest

aktualizowana nie rzadziej niż co 10 lat, w przypadku ujęć dostarczających mniej niż 1000 m³ wody rocznie – nie rzadziej niż co 20 lat. Strefa ochronna jest ustanawiana na koszt właściciela ujęcia wody. Analizy ryzyka w systemach wodociągowych są powszechnie znane [16, 18, 21], jednak wprowadzone Prawo wodne [22] po raz pierwszy wymieniło wykonanie analizy ryzyka jako obowiązkowe opracowanie. Celem pracy jest przedstawienie przeglądu matryc ryzyka, które mogą być wykorzystywane w analizie ryzyka ujęć wody oraz przedstawienie wyników analizy ryzyka dla czterech ujęć wód powierzchniowych, typu brzegowego zlokalizowanych w południowo-wschodniej Polsce.

Przegląd istniejącego stanu wiedzy w zakresie wykorzystania metod matrycowych pod kątem potencjalnego zastosowania w analizie ryzyka w SZW

Metody matrycowe w analizie ryzyka systemów komunalnych

Ustawa Prawo wodne [22] nie precyzuje w oparciu o jaką metodę należy wykonać analizę ryzyka ujęcia wody. Pojęcie ryzyka w systemach technicznych zostało wprowadzone przez zespół S. Kaplan i B. J. Garrick w 1981 roku. W pracy [3] zdefiniowali oni ryzyko jako zbiór trzech parametrów:

$$r = \{s_i, p_i, x_i\} \quad (1)$$

gdzie:

- s_i – scenariusz zdarzenia niepożądanego,
- p_i – prawdopodobieństwo zajścia danego scenariusza awaryjnego,
- x_i – konsekwencje zajścia danego scenariusza awaryjnego.

W inżynierii środowiska (podobnie jak w większości zastosowań inżynierskich) obowiązuje podstawowa definicja ryzyka, która przedstawia ryzyko jako iloczyn prawdopodobieństwa zajścia zdarzeń niepożądanych i strat powstałych w wyniku ich zajścia. Mimo że ryzyko jest przedmiotem analiz i ocen już od dawna, to pojęcie ryzyka nie zostało jeszcze jednoznacznie zdefiniowane, a ryzyko ocenia się na wiele sposobów.

Pojęcie ryzyka w inżynierii środowiska w Polsce wprowadził E. Kempa [4]. Jako jedni z pierwszych badania na temat ryzyka w SZW prowadzili T. Lubowiecka oraz A. Wiczysty [7]. Najbardziej zaawansowane prace dotyczące wykorzystania metod matrycowych w analizie ryzyka systemów komunalnych były prowadzone w Katedrze Zaopatrzenia w Wodę i Odprowadzania Ścieków Politechniki Rzeszowskiej pod kie-

runkiem Profesora Janusza Raka. Prace te doprowadziły do opracowania wieloparametrycznych metod oceny ryzyka szczegółowo opisanych w licznych publikacjach oraz monografiach [13, 19]. Zaprezentowane matryce ryzyka są modyfikowane w zależności od specyfiki SZW oraz celu analizy ryzyka. Przykładowo, dla analizy ryzyka awarii sieci wodociągowej wprowadza się parametry charakteryzujące rodzaj sieci i intensywność uszkodzeń.

Dwuparametryczna matryca ryzyka

Dwuparametryczna matryca ryzyka przedstawia zależność prawdopodobieństwa wystąpienia zagrożenia od jego następstw (skutków) według podstawowego wzoru [12, 15]:

$$r_{ij} = P_i \cdot C_j \quad (2)$$

gdzie:

- P_i – prawdopodobieństwo zajścia zdarzeń niepożądanych, $i = 1, 2, \dots, n$,
- n – liczba skali przyjętej dla parametru prawdopodobieństwa,
- C_j – konsekwencje, straty względne związane z danym prawdopodobieństwem, $j = 1, 2, \dots, m$,
- m – liczba skali przyjętej dla parametru strat.

Zbiór możliwych wartości ryzyka $R = \{r_{ij}\}$ można przedstawić w macierzy $m \times n$ postaci:

$$M_R = \begin{pmatrix} r_{11} & r_{12} & \dots & r_{1n} \\ r_{21} & r_{22} & \dots & r_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ r_{m1} & r_{m2} & \dots & r_{mn} \end{pmatrix}$$

gdzie:

- R – zbiór wartości ryzyka,
- M – oznaczenie macierzy,
- r_{ij} – wartość ryzyka dla i -tej wartości prawdopodobieństwa i j -tej wartości strat.

W ilościowych metodach matrycowych dla wszystkich parametrów ryzyka przypisuje się odpowiednie wagi punktowe (w przyjętej skali). Przykładowo, dla najprostszej skali trójstopniowej wartościowanie poszczególnych parametrów przedstawia się w sposób następujący:

- dla parametru prawdopodobieństwa:
 - małe – waga 1,
 - średnie – waga 2,
 - duże – waga 3,
- dla parametru strat:
 - małe – waga 1,
 - średnie – waga 2,
 - duże – waga 3.

Trójparametryczna matryca ryzyka

W trójparametrycznej macierzy ryzyka parametrami są: częstotliwość wystąpienia

Tabela 1. Trójparametryczna macryca ryzyka
Table 1. Three-parametric risk matrix

V	P = 1				
	C				
	1	2	3	4	5
1	1	2	3	4	5
2	2	4	6	8	10
3	3	6	9	12	15
4	4	8	12	16	20
5	5	10	15	20	25

V	P = 2				
	C				
	1	2	3	4	5
1	2	4	6	8	10
2	4	8	12	16	20
3	6	12	18	24	30
4	8	16	24	32	40
5	10	20	30	40	50

V	P = 3				
	C				
	1	2	3	4	5
1	3	6	9	12	15
2	6	12	18	24	30
3	9	18	27	36	45
4	12	24	36	48	60
5	15	30	45	60	75

V	P = 4				
	C				
	1	2	3	4	5
1	4	8	12	16	20
2	8	16	24	32	40
3	12	24	36	48	60
4	16	32	48	64	80
5	20	40	60	80	100

V	P = 5				
	C				
	1	2	3	4	5
1	5	10	15	20	25
2	10	20	30	40	50
3	15	30	45	60	75
4	20	40	60	80	100
5	25	50	75	100	125

zagrożenia, skutki zagrożeń i podatność na zagrożenia. Przykładową trójparametryczną macrycę ryzyka przedstawiono w tabeli 1. Obowiązuje formuła [12, 15]:

$$r = P \cdot C \cdot V \quad (3)$$

gdzie:

- P – waga punktowa związana z prawdopodobieństwem wystąpienia danego reprezentatywnego zdarzenia niepożądanego,
- C – waga punktowa związana z wielkością strat,
- V – waga punktowa związana z podatnością (ang. *vulnerability*) SZW na zagrożenia.

W ujęciu „security” ryzyko można oszacować w oparciu o zależność [12]:

$$r = \frac{P \cdot C}{O} \quad (4)$$

gdzie:

- O – waga punktowa związana z ochroną (ang. *security*) SZW przed zagrożeniami.

Barьеры ochronne stanowią zbiorniki wody czystej, system monitoringu itp. Im bardziej rozbudowany system barier ochronnych, tym mniejsze jest ryzyko wystąpienia zagrożenia w SZW.

Dla potrzeb analizy zagrożenia ludności i mienia związanego z awariami SZW można wykorzystać formułę [10]:

$$r = P \cdot C \cdot F \quad (5)$$

gdzie:

- F – waga punktowa związana z wielkością strat ludzkich.

Czteroparametryczna macryca ryzyka

Czteroparametryczna macryca szacowania ryzyka jest wyznaczana na podstawie zależności [13]:

$$r = \frac{P \cdot C \cdot N}{O} \quad (6)$$

gdzie:

- N – waga punktowa związana z zagrożoną liczbą mieszkańców.

Dla potrzeb analizy ryzyka w sieci wodociągowej można wykorzystać zależność:

$$r = \frac{S \cdot I \cdot U}{O} \quad (7)$$

gdzie:

- S – waga punktowa związana z rodzajem sieci wodociągowej (sieć magistralna, rozdzielcza, podłączenie domowe),
- I – waga punktowa związana z intensywnością uszkodzeń,
- U – waga punktowa związana z uciążliwością naprawy uszkodzeń.

Pięcioparametryczna macryca ryzyka

Kombinacją macierzy trójparametrycznej i czteroparametrycznej jest macryca pięcioparametryczna, która ma zastosowanie w przypadku bardzo rozbudowanych SZW w dużych aglomeracjach miejskich. Ryzyko wyznacza się według formuły [13]:

$$r = \frac{P \cdot C \cdot N \cdot E}{O} \quad (8)$$

gdzie:

- E – waga punktowa związana z ekspozycją na zagrożenie.

Asymetryczna dwuparametryczna macryca ryzyka

Analiza ryzyka w oparciu o klasyczną definicję wg wzoru (2) skutkuje tym, że w macrycy ryzyko przyjmuje taką samą wartość dla małych wartości P i dużych war-

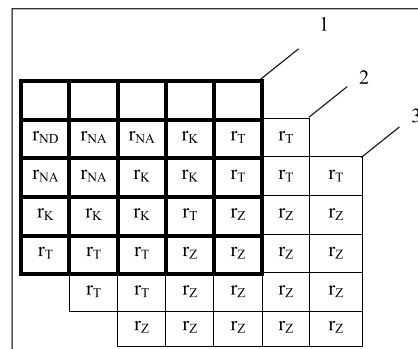
tości C oraz dla dużych wartości P i małych wartości C. W celu wyeliminowania tych ograniczeń, zaproponowano wykorzystanie współczynnika rangi skutków lub konsekwencji zdarzenia niepożądanego (w). Zakładając, że straty posiadają większy wpływ na wielkość ryzyka, zaproponowano następującą definicję ryzyka [12]:

$$r = P \cdot C^w \quad (9)$$

Współczynnik w zależy od liczby zagrożonych osób i wysokości strat, większe wartości wyrażają bardziej dotkliwe straty. Możliwe wartości współczynnika w = {1,0; 1,1; 1,3; 1,6; 2,0}.

Wielowarstwowa macryca ryzyka

Opracowywanie wielowarstwowej macrycy ryzyka rozpoczyna się od ustalenia skali dla wielkości prawdopodobieństwa (częstości) i strat. Zaproponowano wykorzystanie pięciostopniowej skali dla obu wielkości związanych z ryzykiem. Głównym założeniem metody jest możliwość zmniejszenia negatywnych skutków zdarzenia pod wpływem zadziałania bariery ochronnej. Ideę trójwarstwowej macrycy ryzyka pokazano na rysunku 1 [1].



Rys. 1. Trójwarstwowa macryca ryzyka gdzie: 1 – efekt bariery zapobiegania; 2 – efekt bariery ochrony; 3 – efekt bariery przeciwdziałania
Fig. 1. Three-tier risk matrix

Przykład oceny ryzyka dla wybranych ujęć wody

Analizę ryzyka przeprowadzono dla 4 ujęć wody zlokalizowanych w regionie Polski południowo-wschodniej w województwie podkarpackim. Są to ujęcia wód powierzchniowych, typu brzegowego, trzy z nich ujmują wodę rzeczną, a jedno ujmuje wodę ze zbiornika zaporowego.

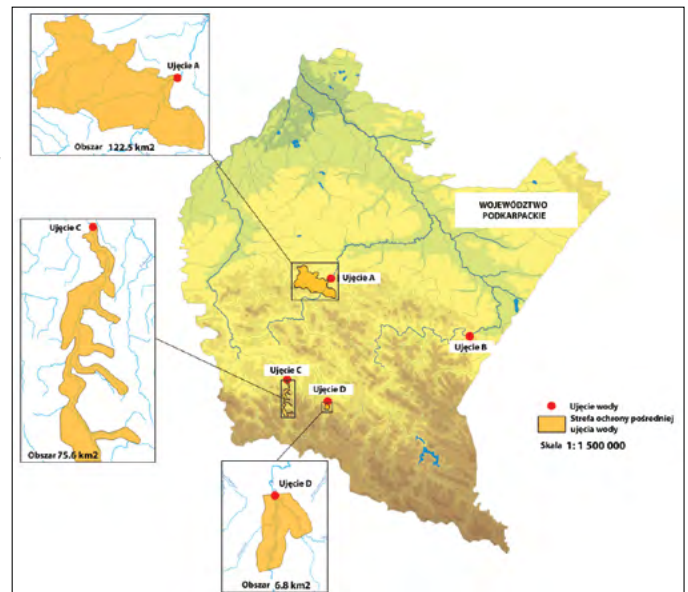
Zgodnie z ustawą Prawo wodne [22], która reguluje sprawę ochrony ujęć wody w Polsce, strefę ochronną obejmującą teren ochrony bezpośredniej i teren ochrony pośredniej ustanawia się na podstawie analizy ryzyka obejmującej ocenę zagrożeń zdrowotnych z uwzględnieniem czynników

negatywnie wpływających na jakość ujmowanej wody, przeprowadzoną w oparciu o analizy hydrogeologiczne lub hydrologiczne oraz dokumentację hydrogeologiczną lub hydrologiczną, analizę identyfikacji źródeł zagrożenia wynikających ze sposobu zagospodarowania terenu, a także o wyniki badania jakości ujmowanej wody. Podejście to jest zbieżne z wymaganiami Drinking Water Directive 2020/2184 [2] oraz wymaganiami WHO w zakresie oceny ryzyka w obszarach zasilania dla punktów poboru wody przeznaczonej do spożycia przez ludzi.

Analiza ryzyka została wykonana przez pracowników Katedry Zaopatrzenia w Wodę i Odprowadzania Ścieków Politechniki Rzeszowskiej dla czterech ujęć wody zaopatrujących wybrane miasta położone w południowo-wschodniej Polsce. Po przeprowadzeniu szczegółowej identyfikacji zagrożeń dla jakości wody rzeki oraz analizy wyników badań jakości ujmowanej wody zidentyfikowano istniejące środki bezpieczeństwa zabezpieczające konsumentów przed spożyciem wody o nieodpowiedniej jakości. Przeprowadzono także walidację istniejących środków bezpieczeństwa, której celem było potwierdzenie działania tych środków w warunkach normalnych i kryzysowych. Skuteczność środków bezpieczeństwa wpływa na obniżenie wartości ryzyka. Wskazano także środki brakujące, czyli takie które powinny funkcjonować w systemie, a dotychczas nie zostały wdrożone.

W tabeli 2 przedstawiono same wyniki przeprowadzonej analizy ryzyka ze względu na ograniczone ramy czasopisma.

Rys. 2. Zasięg projektowanej strefy ochrony pośredniej ujęcia A, C oraz D
Fig. 2. The scope of the designed indirect protection zone for Intake A, Intake C and Intake D



Otrzymane rezultaty są wynikiem opracowań wykonanych na zlecenie przedsiębiorstw wodociągowych zarządzających ujęciami A, B, C oraz D. Każde zdarzenie jest opisane za pomocą trzech parametrów: „prawdopodobieństwo”, „skutek” oraz „ochrona” i w oparciu o te parametry została wyznaczona wartość ryzyka zgodnie z zależnościami (4).

Efektem przeprowadzonej analizy ryzyka jest przedstawienie propozycji działań naprawczych oraz propozycji zasięgu strefy ochrony pośredniej dla poszczególnych ujęć wody. Proponowany zasięg strefy ochrony pośredniej dla ujęcia wody A, C oraz D obejmuje obszar, dla którego przeprowadzono analizę ryzyka, tj. teren powyżej ujęcia wody w obszarze

12 godzinny splotu do ujęcia wody. Przeprowadzona analiza ryzyka nie wykazała natomiast istotnych zagrożeń dla ujęcia wody, dla ujęcia B. W związku z powyższym, oraz z faktem, że cały teren objęty przedmiotowym opracowaniem obejmuje obszar szczególnie chroniony przyrodniczo oraz brakiem dużych oczyszczalni ścieków sanitarnych i zakładów przemysłowych stanowiących potencjalne zagrożenie, nie ma potrzeby ustanawiania strefy ochrony pośredniej ujęcia wody. Analizowane SZW są wyposażone w niezbędne zabezpieczenia związane z ujmowaniem wody powierzchniowej. Ocena ryzyka zagrożeń dla ujęć wody nie wykazała bardzo znaczących zagrożeń dla konsumentów wody wodociągowej.

Tabela 2. Analiza ryzyka
Table 2. Risk analysis

Lp.	Rodzaj zdarzenia	Charakterystyka zdarzenia niepożądanego	Ryzyko				Mediana	Minimum	Maximum	Odch. stand.	Kwantyl dolny (25%)	Kwantyl górny (75%)
			Ujęcie A	Ujęcie B	Ujęcie C	Ujęcie D						
1	Wypadek drogowy lub kolejowy	Zanieczyszczenie wody rzecznej spowodowane transportem oraz wypadkiem drogowym lub kolejowym (oleje, benzyna, WWA, substancje chemiczne)	0,40	1,00	0,67	0,67	0,67	0,40	1,00	0,21	0,47	0,75
2	Oczyszczalnia ścieków komunalnych lub przemysłowych	Incydentalne zanieczyszczenie wody rzecznej spowodowane awarią oczyszczalni ścieków komunalnych lub przemysłowych (powyżej ujęcia wody), która skutkuje odprowadzeniem do rzeki nieoczyszczonych ścieków komunalnych (bakterie, wirusy, związki biogenne) lub przemysłowych (substancje szkodliwe, metale ciężkie)	1,00	0,75	5,00	0,25	0,88	0,25	5,00	1,90	0,38	2,00
3	Zakłady przemysłowe	Zanieczyszczenie wody rzecznej spowodowane przez zakłady o dużym i zwiększonym ryzyku wystąpienia poważnej awarii przemysłowej	0,25	0,50	0,20	0,20	0,23	0,20	0,50	0,12	0,20	0,31
4	Działalność rolnicza	Zanieczyszczenie wody rzecznej spowodowane nieodpowiednią działalnością rolniczą (pestycydy, substancje biogenne)	1,50	0,75	1,00	2,00	1,31	1,25	0,75	2,00	0,48	0,81
5	Inne źródła obszarowe	Zanieczyszczenie wody rzecznej spowodowane przez inne źródła obszarowe tj. dzikie wysypiska śmieci, stacje paliw, cmentarze	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,00	0,25	0,25
6	Nieregulowana gospodarka ściekowa	Zanieczyszczenie wody rzecznej przez nieszczelne szamba i odprowadzanie ścieków nieoczyszczonych do gruntu lub wody (brak zbiorczego systemu odprowadzania ścieków)	2,00	1,50	2,67	2,00	2,00	1,50	2,67	0,42	1,63	2,17
7	Powódź	Zanieczyszczenie wody rzecznej spowodowane przez powódź lub gwałtowne opady deszczu (wzrost mętności oraz zanieczyszczenia biologicznego wody)	1,20	1,50	2,00	1,25	1,38	1,20	2,00	0,32	1,21	1,63
8	Działanie osób trzecich	Zanieczyszczenie wody rzecznej spowodowane przez szkodliwe działanie osób trzecich (akt wandalizmu, sabotaż)	0,80	1,20	1,33	1,33	1,17	1,27	0,80	1,33	0,22	0,90
9	Sezonowe zmiany jakości wody – lato	Zmiany sezonowe jakości wody w okresie letnim (wzrost stężenia substancji biogennych powodujących eutrofizację rzeki)	4,00	3,00	4,00	4,00	4,00	3,00	4,00	0,43	3,25	4,00
10	Sezonowe zmiany jakości wody – zima	Zmiany sezonowe jakości wody w okresie zimowym (odtlenienie wody, wzrost NH ₄)	4,00	2,25	3,00	3,00	3,00	2,25	4,00	0,62	2,44	3,25

Ocena ryzyka jest procesem ciągłym, dlatego na podstawie przeprowadzonej analizy przedstawiono propozycję działań korygujących lub naprawczych, jakie przedsiębiorstwa wodociągowe powinny podjąć w celu stałej kontroli i redukcji ryzyka. Działania korygujące zostały przedstawione dla źródeł zagrożeń mających najistotniejszy wpływ na poziomy ryzyka generowanych zagrożeń dla ujęć A-D:

- opracowanie procedur postępowania w przypadku wystąpienia zanieczyszczenia, którego konwencjonalny proces uzdatniania nie będzie w stanie usunąć,
- pozyskiwanie środków finansowych przez jednostki samorządu terytorialnego na budowę sieci kanalizacji sanitarnej w miejscowościach położonych na terenie zlewni rzek, z których ujmuwana jest woda, w szczególności na obszarze 12 godzinnego spływu do ujęcia wody,
- monitorowanie zużycia środków ochrony roślin na terenie ochrony pośredniej oraz kontrola ich jakości,
- opracowanie w oczyszczalniach ścieków planów kontroli stanu technicznego obiektów i rurociągów oraz wdrożenie procedur postępowania po rozpoznaniu poważnej awarii w oczyszczalniach ścieków,
- wprowadzenie zakazu lokalizacji nowych oczyszczalni ścieków komunalnych i przemysłowych na terenie strefy ochrony pośredniej ujęcia wody.

Podsumowanie

W pracy dokonano przeglądu matrycy ryzyka wykorzystywanych w analizie i ocenie ryzyka w SZW. Opracowane metody mogą być modyfikowane w zależności od specyfiki SZW oraz celu analizy ryzyka. Ocena ryzyka i zarządzanie ryzykiem w obszarach zasilania dla punktów poboru wody przeznaczonej do spożycia przez ludzi zgodnie z zapisami Drinking Water Directive 2020/2184 [2] powinna zostać przeprowadzona w UE do 12 lipca 2027 r. Polska spełnia to kryterium, już do końca 2022 roku ma być wykonana analiza ryzyka dla ujęć wody dostarczających więcej niż 10 m³ wody na dobę lub służących zaopatrzeniu w wodę więcej niż 50 osób w Polsce.

Ustawa Prawo wodne [22] nałożyła obowiązek przeprowadzenia analizy ryzyka, ale nie wskazuje ona w jaki sposób należy ją wykonać. Spowodowało to, że przedsiębiorstwa wodociągowe szukały wsparcia merytorycznego w tym zakresie. We współpracy z przedsiębiorstwami wodociągowymi opracowano analizę ryzyka dla ujęć wody objętych niniejszą pracą i na ich podstawie odpowiedni woj-

woda ustanowił zasięg wymaganych stref ochronnych. Przedstawiona w pracy metoda może być stosowana przez polskie przedsiębiorstwa wodociągowe zarówno do opracowania analizy ryzyka dla ujęć wody, jak i do corocznych ewaluacji zagrożeń ujęcia wody. Czynniki ryzyka bowiem nie można całkowicie wyeliminować.

Podjęcie oparte na analizie ryzyka zagrożeń wydaje się optymalne zarówno z punktu widzenia bezpieczeństwa konsumentów wody, jak i rozwoju społeczno-gospodarczego. Ustanowienie strefy ochrony jest zawsze związane z ograniczeniem działalności gospodarczej na danym terenie i powinna być ona ustanawiana tylko wtedy, gdy to konieczne dla zapewnienia odpowiedniej jakości pobieranej wody. Na podstawie wyników oceny ryzyka przeprowadzonej dla czterech ujęć wody powierzchniowej zlokalizowanych w południowej Polsce zdefiniowano odpowiednie środki zarządzania ryzykiem w celu zapobiegania zidentyfikowanemu ryzyku lub w celu jego kontroli i oceniono potrzebę ustanowienia lub dostosowania stref ochronnych dla analizowanych ujęć wód powierzchniowych. Przeprowadzona analiza ryzyka nie wykazała istotnych zagrożeń dla ujęcia wody dla ujęcia B, w związku z czym nie ma potrzeby ustanawiania strefy ochrony pośredniej ujęcia wody. Dla ujęć A, C oraz D wyznaczono teren ochrony pośredniej obejmujący obszar 12 godzinnego spływu do ujęcia wody.

Opracowana metoda wychodzi naprzeciw nowoczesnym standardom dotyczącym bezpieczeństwa wody przeznaczonej do spożycia i może być powszechnie stosowana przez przedsiębiorstwa wodociągowe dla potrzeb realizacji założeń Planów Bezpieczeństwa Wodnego (PBW). Opracowana metoda analizy i oceny ryzyka uzupełni i rozszerzy zalecaną dla PBW dwuparametryczną matrycę ryzyka.

LITERATURA

- [1] Borysiewicz Mieczysław, Markowski Adam S. 2002. „Kryteria akceptowalności ryzyka poważnych awarii przemysłowych”. Wydawnictwo CIOP. Warszawa.
- [2] DYREKTYWA PARLAMENTU EUROPEJSKIEGO I RADY (UE) 2020/2184 z dnia 16 grudnia 2020 r. w sprawie jakości wody przeznaczonej do spożycia przez ludzi
- [3] Kaplan Stanley, Garrick John B. 1981. „On The Quantitative Definition of Risk”. *Risk Analysis*. 1: 11-27.
- [4] Kempa Edward S. 1993. „Analiza ryzyka w systemach oczyszczania wód”. *Ochrona Środowiska*. 3(50): 5-10.
- [5] Kutyłowska Małgorzata. „Neural network approach for failure rate prediction”. *Engineering Failure Analysis* 2015, 47, 41-48.
- [6] Lee Mijin, Mcbean Edward Arthur, Ghazali Mimader; Schuster Corinne J., Huang Jinhui Jeanne. „Fuzzy-Logic Modeling of Risk Assessment for a Small Drinking-Water Supply System”. *Journal of Water Resources Plan-*

ning and Management 2009, 135, 547-552, doi:10.1061/(asce)0733-9496(2009)135:6(547).

- [7] Lubowiecka Teresa, Wieczysty Artur. „Ryzyko w systemach zaopatrzenia w wodę”. *Monografia Komitetu Gospodarki Wodnej Polskiej Akademii Nauk, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej*. Warszawa. 113-141.
- [8] Michaud David, George E. Apostolakis. „Methodology for ranking elements in water supply networks”. *Journal of Infrastructure Systems* 2006, 12, 230-242.
- [9] Porto Monica. *Water and Ethics, Human Health and Sanitation; United Nations Educational: Saint-Denis*, 2004.
- [10] Rak Janusz R. 2017. „Analiza i ocena zagrożenia ludności i mienia w przypadku awarii systemów wodociągowych”. *Gaz, Woda i Technika Sanitarna*, 2: 47-50.
- [11] Rak Janusz R., Pietrucha-Urbanik Katarzyna. „An Approach to Determine Risk Indices for Drinking Water- Study Investigation”. *Sustainability* 2019, 11, 3189.
- [12] Rak Janusz R., Tchórzewska-Cieślak Barbara. 2014. „Matrycowe metody analizy ryzyka awarii infrastruktury komunalnej”. *Czasopismo Inżynierii Łądowej, Środowiska i Architektury, JCEEA*. XXXI, 61(1/14): 233-244.
- [13] Rak Janusz R., Tchórzewska-Cieślak Barbara. 2005. „Metody analizy i oceny ryzyka w systemie zaopatrzenia w wodę”. *Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej*. Rzeszów.
- [14] Rak Janusz R., Żywiec Jakub. „Relacje podatność – odporność w aspekcie bezpieczeństwa systemów wodociągowych”. *INSTAL*, z.7-8/2019, s.59-63.
- [15] Rak Janusz R., Tchórzewska-Cieślak Barbara, Boryczko Krzysztof, Szpak Dawid. „Wykorzystanie zaawansowanych metod matrycowych w analizie ryzyka w systemach zbiorowego zaopatrzenia w wodę”. *Gaz, Woda i Technika Sanitarna*. 11/2017, 448-452.
- [16] Santonu Kumar Sanyal, Taslin Jahan Mou, Ram Prosad Chakrabarty i inni. „Diversity of arsenite oxidase gene and arsenotrophic bacteria in arsenic affected Bangladesh soils”. *Ambio Express* 2016, 6, doi:ARTN 2110.1186/s13568-016-0193-0.
- [17] Szpak Dawid, Tchórzewska-Cieślak Barbara. „The Use of Grey Systems Theory to Analyze the Water Supply Systems Safety”. *Water Resources Management* 2019, 33, 4141-4155.
- [18] Szpak Dawid, Tchórzewska-Cieślak Barbara. „Water producers risk analysis connected with collective water supply system functioning”. In *Dependability Engineering and Complex Systems. Advances in Intelligent Systems and Computing*, W; Mazurkiewicz Zamojski, J; Sugier, J; Et Al., Ed.; Springer Switzerland 2015; Volume 470, pp. 479-489.
- [19] Tchórzewska – Cieślak Barbara. 2011. „Metody analizy i oceny ryzyka awarii podsystemu dystrybucji wody”. *Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej*. Rzeszów.
- [20] Tchórzewska-Cieślak Barbara, Szpak Dawid. „A Proposal of a Method for Water Supply Safety Analysis and Assessment”. *Ochrona Środowiska* 2015, 37, 43-47.
- [21] Tchórzewska-Cieślak Barbara, Boryczko Krzysztof, Piegdon Izabela. „Possibilistic risk analysis of failure in water supply network”. In *Proceedings of the The European Safety And Reliability Conference (ESREL)*, Wrocław, 2015; pp. 1473-1480.
- [22] Ustawa Prawo wodne (Dz.U. 2017 poz. 1566) z późn. zm.
- [23] Xian Zhong, Qingping Wu, Jumei Zhang, Shuxian Shen. „Prevalence, genetic diversity and antimicrobial susceptibility of *Campylobacter jejuni* isolated from retail food in China”. *Food Control* 2016, 62, 10-15, doi:10.1016/j.foodcont.2015.09.032.